

УДК 551.466

ОСОБЕННОСТИ ПРОЯВЛЕНИЯ ЧИЛИЙСКИХ ЦУНАМИ 1 АПРЕЛЯ 2014 г. И 16 СЕНТЯБРЯ 2015 г. НА ТИХООКЕАНСКОМ ПОБЕРЕЖЬЕ РОССИИ

© 2017 г. Г. В. Шевченко¹, А. В. Лоскутов¹, А. А. Шишкин¹, Т. Н. Ивельская²

¹Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск, Россия

e-mail: g.shevchenko@imgg.ru

²Центр цунами Сахалинского управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, Южно-Сахалинск, Россия

Поступила в редакцию 18.01.2016 г., после доработки 25.04.2016 г.

В результате постановок автономных донных станций в бухтах о. Шикотан были получены записи двух цунами от сильных землетрясений, имевших место у берегов Чили 01 апреля 2014 г. и 16 сентября 2015 г. В обоих случаях в различных бухтах наблюдались продолжительные интенсивные колебания с выраженной групповой структурой, главным образом, на периодах основных мод резонансных колебаний. Второе событие было более опасным, в бухте Малокурильская высота волны составила 0.9 м. Возрастание энергии колебаний в 2015 г. было более значительным и проявилось в более широком диапазоне периодов.

Численное моделирование цунами показало, что характер распространения волн при обоих землетрясениях был идентичен в северной части Тихого океана, на подходе к тихоокеанскому побережью России и отличался слабым затуханием, в отличие от волн, распространявшихся в южном и юго-западном направлениях. Это объясняет причины того, что при землетрясениях у берегов Южной Америки, несмотря на значительную удаленность, можно ожидать больших волн на побережье Курильских островов.

DOI: 10.7868/S0030157417060119

1. ВВЕДЕНИЕ

Два сильных землетрясения произошло с интервалом около полутора лет у берегов Чили. Первое из них имело место 1 апреля 2014 г. в 23:46:46 по Гринвичу, оно имело моментную магнитуду $M_w = 8.2$, координаты эпицентра были 19.642° ю.ш. и 70.817° з.д. (в 98 км к северо-западу от города Икике в северной части Чили), фокальная глубина 20.5 км. Второе произошло 16 сентября 2015 г. в 22:54:33 GMT ($M_w = 8.3$), его эпицентр находился в точке с координатами 31.57° ю.ш. и 71.654° з.д. в 169 км к северу от г. Вальпараисо в центральной части Чили, фокальная глубина 24.9 км. Все данные приведены по информации, представленной на сайте Геологической службы США (<http://www.usgs.gov/>).

Эти землетрясения имели близкие значения магнитуды и фокальной глубины и возбудили волны цунами, которые представляли значительную опасность для береговых населенных пунктов, расположенных в ближней зоне. Волны умеренной интенсивности наблюдались по всему Тихому океану, в том числе в его северо-западной части, у берегов России и Японии.

Российская служба предупреждения (СПЦ) не подавала сигнал тревоги цунами, хотя согласно магнитудно-географическому критерию, тревога цунами при землетрясении в районе Чили подается при значении магнитуды 7.5 и выше. Волны от источников в данном районе в мае 1960 г. и феврале 2010 г. представляли серьезную опасность для населенных пунктов на тихоокеанском побережье России [1, 2], так что ситуация была весьма напряженной. Однако имевшийся запас времени на принятие решения и возможность использования информации о характере волнового процесса на глубоководных (DART) и береговых станциях по трассе распространения цунами позволяли ее контролировать. Поступавшие данные о высотах волн показывали, что серьезной опасности эти цунами для российского побережья не представляют. Служба находилась в состоянии повышенной готовности, местным органам власти было рекомендовано предпринять некоторые меры предосторожности (отвести суда от берега, предупредить население об опасности при нахождении на берегу), но задача эвакуации населения из прибрежных районов не ставилась. Как показали дальнейшие события, эти меры были вполне оправданными.

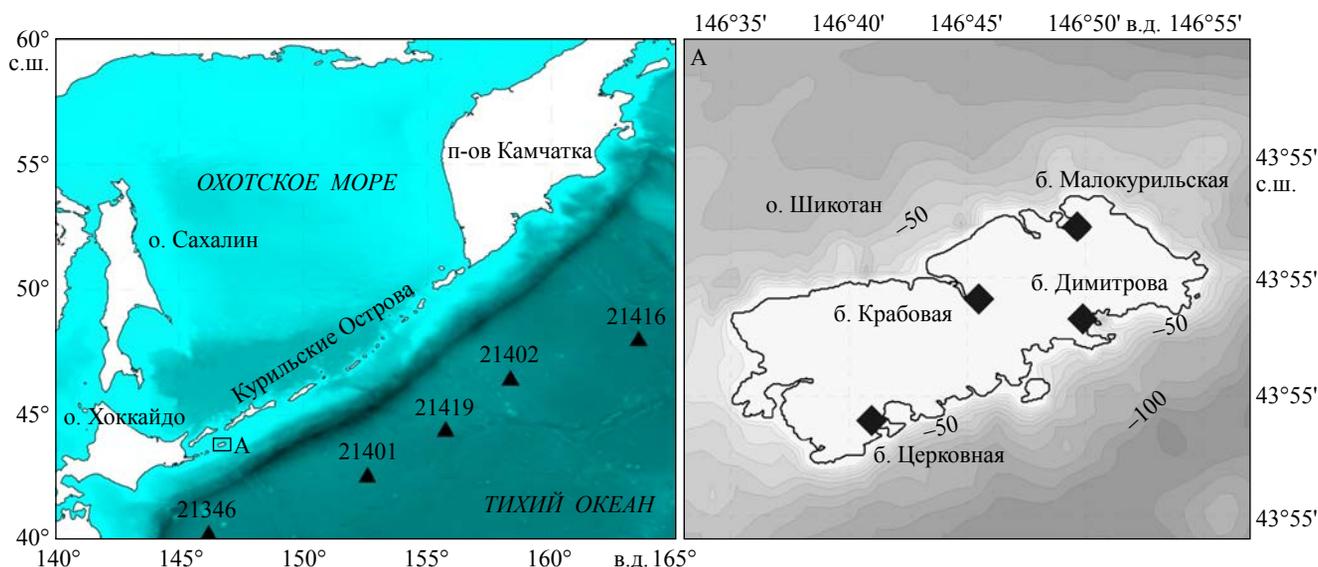


Рис. 1. Расположение глубоководных станций DART вблизи Курильских островов и автономных донных станций в бухтах о. Шикотан – Малокурильская, Крабовая, Церковная, Димитрова.

В настоящее время сеть береговых телеметрических регистраторов СПЦ на Курильских островах демонтирована, работу продолжают только станции Петропавловск-Камчатский на восточном побережье полуострова Камчатка и Никольское (о. Беринга, Командорские острова). Но на этих станциях оба рассматриваемых Чилийских цунами идентифицировать не удалось, несмотря на довольно низкий уровень естественного длинноволнового шума. Было выявлено, что при землетрясениях вблизи берегов Южной Америки восточное побережье Камчатки и Командорские острова, а также западная часть Алеутской островной гряды находятся в своеобразной зоне тени. Следствием этого является тот факт, что при событиях в указанном районе степень опасности здесь существенно ниже, чем на Курильских островах. Очевидно, этот эффект проявился и в данном случае.

Единственное место на тихоокеанском побережье России, где были инструментально зарегистрированы волны Чилийских цунами 2014 и 2015 гг., был остров Шикотан, в бухтах которого проводится мониторинг морских опасных явлений автономными станциями ИМГиГ ДВО РАН (визуальные наблюдения в Северо-Курильске осуществлялись сотрудниками ИВиС ДВО РАН Л. и Т. Котенко). На всех станциях оба цунами проявились примерно одинаково, во всех бухтах были выявлены достаточно интенсивные продолжительные колебания, что удивительно, учитывая значительную удаленность источников от района проведения измерений. Ниже приводятся результаты статистического и спектрального анализа полученных записей, а также данных измерений на глубоководных

станциях DART и численного моделирования, основной целью которого было выявление особенностей распространения волн от источников в Чилийской сейсмоактивной зоне, способствующих их опасному проявлению на побережье Курильских островов.

2. РЕГИСТРАЦИЯ ЧИЛИЙСКОГО ЦУНАМИ 01.04.2014 г. НА О. ШИКОТАН

На рис. 1 представлена карта тихоокеанского побережья России, отмечено положение глубоководных станций DART в районе Курильской гряды. Отдельно показан о. Шикотан, в бухтах которого производились инструментальные измерения длинных волн. Наблюдения за характером волновых процессов осуществлялись автономными донными станциями, которые имели датчики гидростатического давления на дне. В основном использовались регистраторы волнения и уровня АРВ К-14 разработки СКТБ ЭлПА (г. Углич), измерения производились с частотой 1 Гц. Датчиками второго типа (разработка Г.С. Богданова, ИМГиГ ДВО РАН) измерения также производились с секундной дискретностью, но усреднялись с периодом 1 мин (использовалось треугольное окно Бартлетта) и записывались в память прибора. Данные, полученные с АРВ, также усреднялись с дискретностью 1 мин, использовались весовые коэффициенты окна Кайзера-Бесселя. Полученные ряды использовались для определения характеристик волн цунами и естественного длинноволнового фона.

Цунами, вызванное землетрясением в северной части Чили 1 апреля 2014 г., достигло

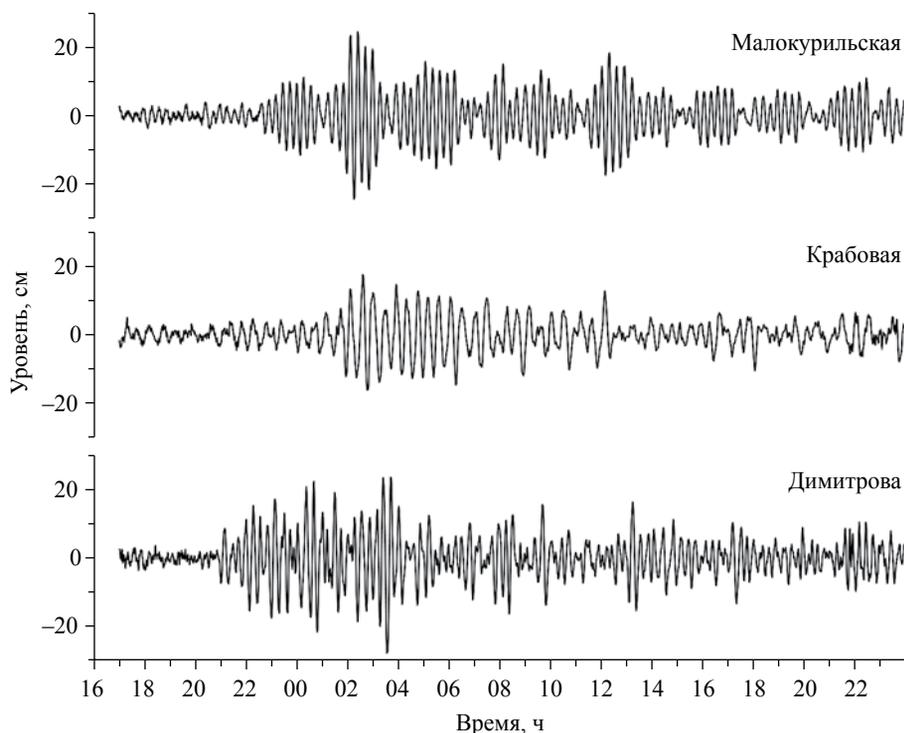


Рис. 2. Отрезки записи за 2–3.04.2014 г. в бухтах о. Шикотан, содержащие Чилийское цунами. Время по Гринвичу.

расположенной вблизи российского побережья (в районе центральной части Курильской островной гряды) станции DART 21419 в 19:26 UTC, а побережья о. Шикотан примерно на полчаса позже. Вначале цунами было записано на станции в б. Димитрова на океанской стороне острова, немногим позже – в бухтах Малокурильская и Крабовая. Цунами проявилось главным образом в виде хорошо выраженных колебаний с периодом около 17 мин, имевших групповую структуру (по 4–5 колебаний в группе) (рис. 2). Интенсивность колебаний в этих группах нарастала и достигла максимума примерно через 6 ч после прихода первой волны, после чего амплитуда волн заметно снизилась. Но колебания, амплитуды которых достигали 10–15 см (примерно такие же высоты волн отмечены по визуальным наблюдениям на о. Парамушир в районе Северо-Курильска), продолжались, постепенно затухая, еще более суток. Сходная картина, с еще более четко выраженной основной частотой и групповой структурой, наблюдалась в б. Малокурильская, которая известна высокой добротностью фундаментальной моды резонансных колебаний [3]. Здесь волновые пакеты были более продолжительными, до 9–10 колебаний, максимальные высоты отмечены в третьей группе, также примерно через 6 часов после прихода первой волны. Интенсивные колебания в бухте продолжались более суток, а спустя примерно 10 ч после максимальной волны, отмечена еще одна группа волн с амплитудами 15–20 см.

Групповая структура колебаний не проявилась практически в б. Крабовая, где также доминировали колебания на частоте основной моды [3]. Амплитуды волн сначала были невелики, 4–5 см, затем резко возросли до 15 см. Впоследствии интенсивность колебаний плавно убывала, в течение примерно 10 ч, после чего отмечен резкий всплеск с амплитудой 10 см. Вариации уровня с амплитудами около 5 см наблюдались в бухте еще около суток.

Спектральные характеристики записей рассчитывались по отрезкам суточной продолжительности, один из которых содержал цунами (спектр цунами), а второй предшествовал ему (спектр естественного фона). Результаты расчетов спектральных характеристик представлены на рис. 3.

Бухта Димитрова находится на океанском побережье и достаточно открыта, здесь практически всегда наблюдается океанская зыбь. Поэтому в спектре естественного длинноволнового фона обычно хорошо выражены максимумы на периодах, отвечающих высокочастотным резонансным модам бухты: около 3–3.3 мин (широкий пик с двумя слабо выраженными максимумами, что обычно наблюдается при выраженной групповой структуре колебаний) и 4.5 мин. Отметим, что в спектрах цунами энергия колебаний на этих пиках (и в целом на периодах менее 5 мин) заметно ниже, чем при обычных условиях. Подобный эффект подавления высокочастотного шума иногда наблюдается при

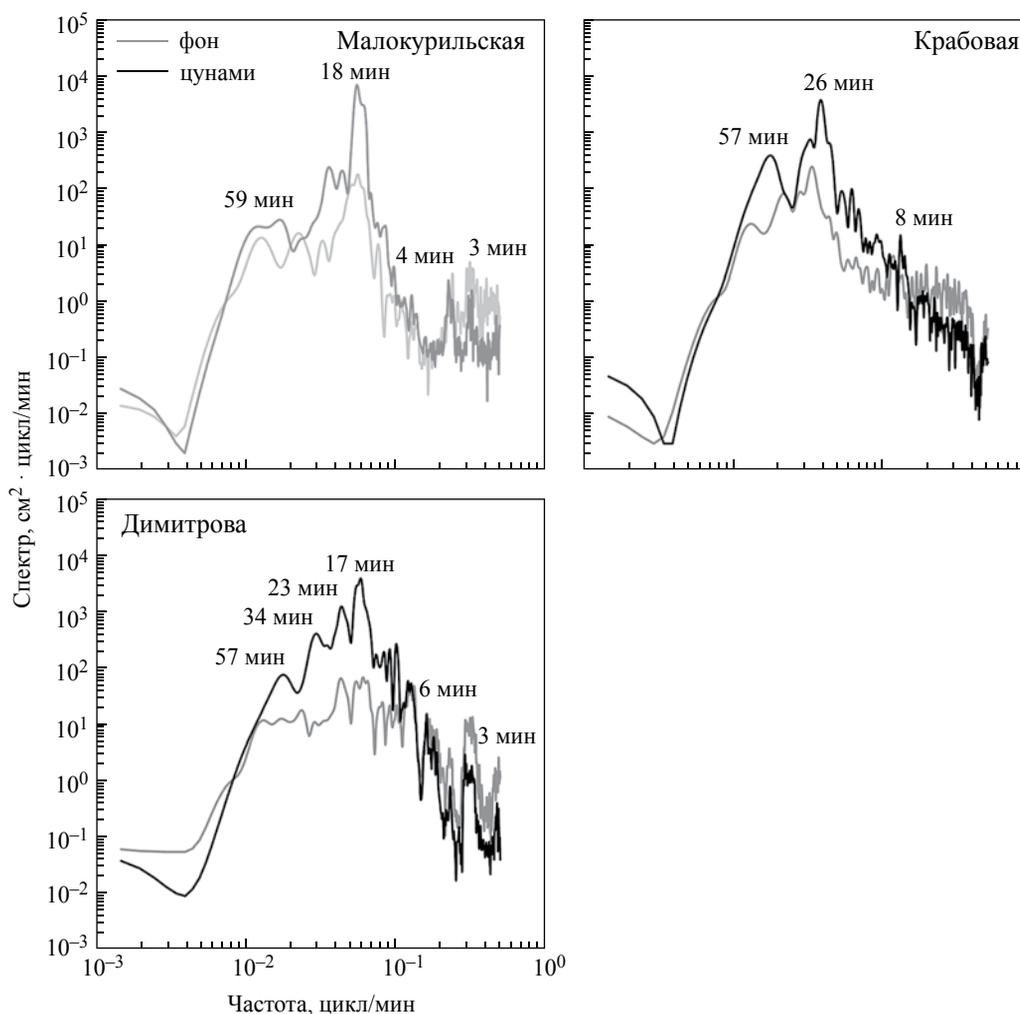


Рис. 3. Спектры колебаний в бухтах о. Шикотан при цунами 01.04.2014 г. и естественного длинноволнового фона, рассчитанные по отрезкам суточной продолжительности. Число степеней свободы равно 14.

цунами. Возрастание энергии колебаний в данном случае проявилось на периодах от 10 до 80 мин. В спектре цунами выделяются хорошо выраженные пики на периодах около 10, 16.5, 23, 35 и 55 мин. Период 23 мин четко выделяется в спектре естественного фона, он отвечает основной резонансной моде бухты. В то время как на периодах 16.5 и 10 мин максимумы в спектре фона выражены слабо и, видимо, в большей степени связаны с характеристиками исходного сигнала. В спектре фона совсем не обнаруживаются максимумы на периодах около 35 и 55 мин, скорее всего, они обусловлены влиянием прилегающего шельфа, резонансные свойства которого, как правило, более четко проявляются при цунами и в меньшей степени при обычных условиях.

В б. Малокурильская возрастание энергии колебаний при цунами также наблюдалось в диапазоне 10–80 мин, высокочастотные компоненты не проявились. В спектре цунами выделяется мощный пик на

периоде 18 мин, отвечающий фундаментальной моде резонансных колебаний бухты, а также на периодах около 29 и 57 мин, не связанных с ее топографией. В высокочастотной части спектра, в том числе на периодах около 3 и 4.5 мин, отвечающих резонансным модам, приход цунами вызвал понижение энергии.

В б. Крабовая, в отличие от рассмотренных выше станций, возрастание энергии отмечено не только в диапазоне 10–80 мин, но и на периоде 8 мин, который не является резонансным для данной бухты. В спектре цунами выделяются два хорошо выраженных пика – на периоде 26 мин (пик в спектре естественного фона, отвечающий нулевой моде резонансных колебаний, отмечен на периоде 30 мин) и 57 мин. Некоторое смещение периодов пиков резонансных колебаний в спектрах при цунами иногда наблюдается, но в данном случае это смещение весьма велико и его трудно объяснить. Низкочастотный пик хорошо согласуется с другими станциями, но выражен гораздо сильнее.

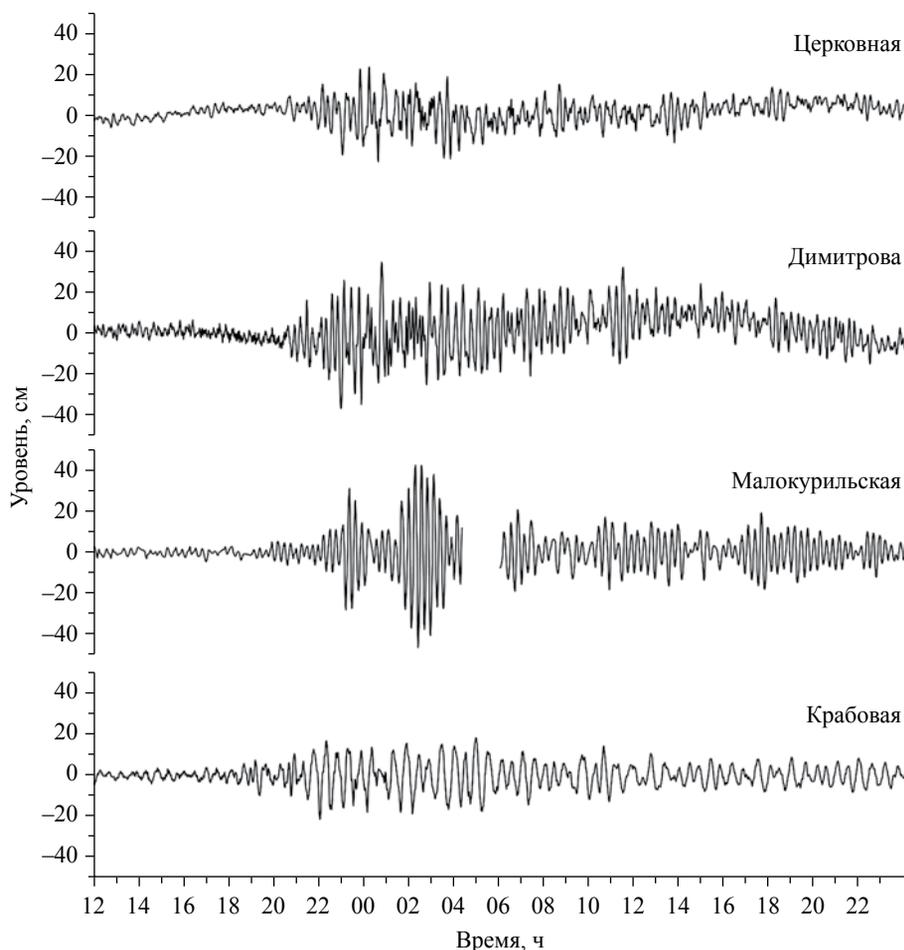


Рис. 4. Отрезки записи за 17–18.09.2015 г. в бухтах о. Шикотан, содержащие Чилийское цунами. Время по Гринвичу.

В целом, несмотря на значительную удаленность источника, Чилийское цунами 01.04.2014 г. отчетливо проявилось на побережье о. Шикотан. Его специфическими особенностями были сравнительно слабое выраженное вступление, существенный временной сдвиг между моментами прихода первой и максимальной волн, большая продолжительность интенсивных колебаний, доминирование резонансных колебаний в бухтах и отсутствие высокочастотных составляющих с периодами менее 10 мин.

3. РЕГИСТРАЦИЯ ЧИЛИЙСКОГО ЦУНАМИ 16.09.2015 г. НА О. ШИКОТАН

Волны цунами, вызванные вторым землетрясением в районе Чили, достигли расположенного в районе южной оконечности полуострова Камчатка глубоководной станции DART 17 сентября в 18:21. Через час цунами достигло берегов о. Шикотан, и было зарегистрировано двумя автономными донными станциями на океанском побережье (бухты Димитрова и Церковная) и одной станцией – со стороны Южно-Курильского пролива, в

б. Крабовая. Датчик в б. Малокурильская цунами не записал из-за технической неисправности, поэтому пришлось использовать данные, полученные в результате оцифровки ленты берегового самописца уровня моря (на ленте имелся пропуск длительностью 100 мин, по счастью, наибольшие волны были раньше).

Полуторасуточные отрезки записи, содержащие цунами, представлены на рис. 4. Визуально можно определить, что, хотя максимальные высоты волн в б. Димитрова в 2014 и 2015 гг. имели близкие значения (51.3 и 62.7 см), в целом во втором случае наблюдались более интенсивные и продолжительные колебания, даже спустя более 12 ч наблюдался цуг волн с высотами более 40 см. В более закрытой б. Церковная высоты волн были существенно меньше (максимальное значение 43 см), хотя колебания были также достаточно продолжительными. Выраженный цуг волн с максимальной высотой 25 см был зафиксирован спустя почти 15 ч после вступления.

В б. Малокурильская Чилийское цунами 2015 г. представляло реальную опасность – высота волны достигла 89 см, причем в третьей, наиболее

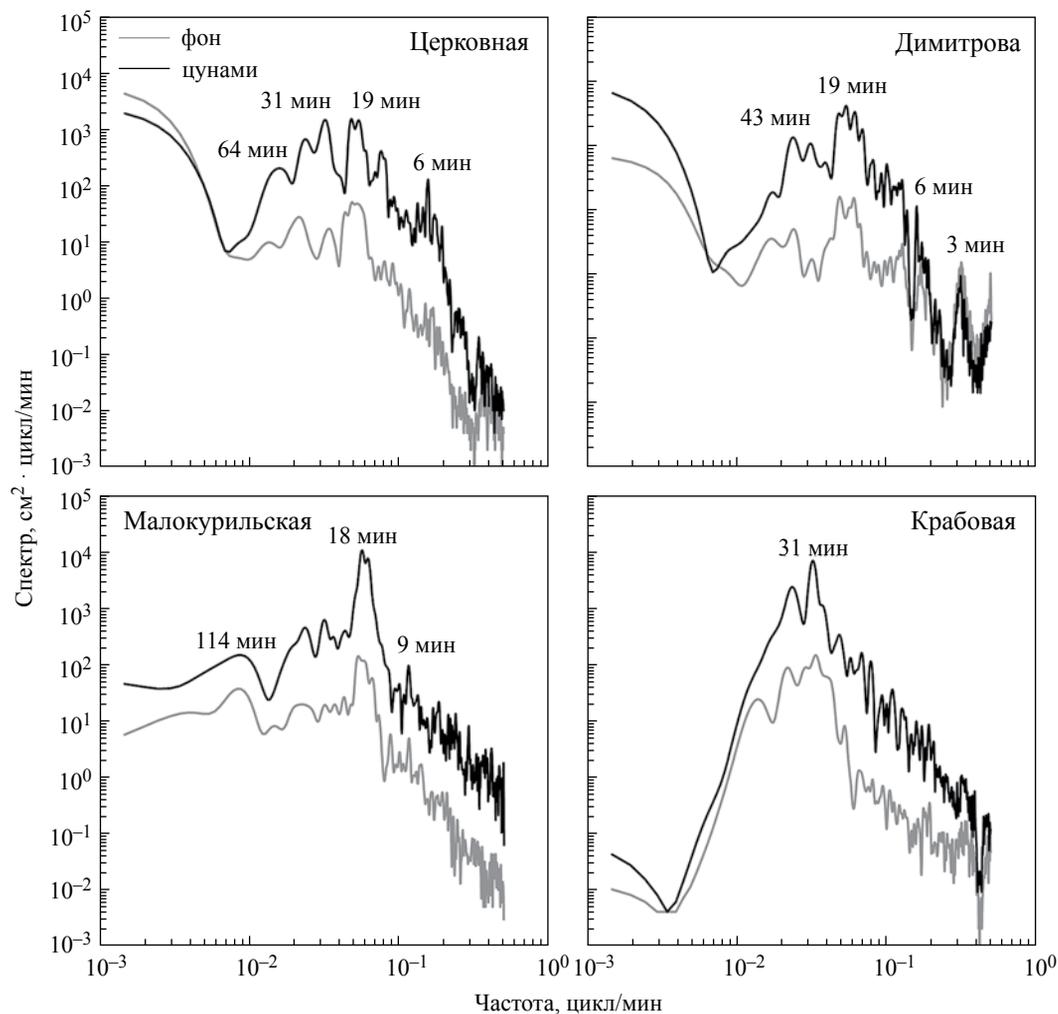


Рис. 5. Спектры колебаний в бухтах о. Шикотан при цунами 16.09.2015 г. и естественного длинноволнового фона, рассчитанные по отрезкам суточной продолжительности. Число степеней свободы равно 14.

мощной группе волн колебания с высотами более полуметра наблюдались более часа.

Интенсивные колебания в этой бухте также продолжались достаточно долго, волна с высотой около 35 см была зафиксирована 20 ч после вступления. В б. Крабовая амплитуды колебаний были примерно вдвое меньше, но спадание волновой энергии было, пожалуй, самым медленным.

В спектрах вызванных цунами колебаний (рис. 5) отмечено гораздо более существенное, чем в рассмотренном выше случае, возрастание энергии по сравнению с обычными условиями, причем наблюдалось оно в более широком диапазоне периодов. Левая (низкочастотная) граница области возрастания была примерно такой же, как и в 2014 г. (около 100 мин против 80 мин). Но в высокочастотной области эта граница была смещена вправо более существенно и охватывала периоды, начиная с 2 мин. Исключение составляет

б. Димитрова, в которой волны цунами проявились в диапазоне периодов от 6 до 100 мин.

В отличие от цунами 2014 г., резонансные колебания с периодом около 17 мин играли несколько меньшую роль, вместо острого пика выделяется резкий подъем спектральной плотности в диапазоне периодов 17–20 мин. Возрастание энергии примерно на полтора порядка отмечено в диапазоне периодов от 8 до 50 мин. В низкочастотной области спектра выделяется пик с периодом около 45 мин, присутствовавший также в спектре фона (в 2014 г. отсутствовал), и более слабый максимум на периоде 30 мин.

Сходная структура спектра выявлена и при расчете по данным наблюдений в б. Церковная. На периоде главного максимума (около 20 мин) отмечен мощный сдвоенный пик с периодами около 19 и 21 мин. Обычно такое раздвоение характерно для выраженной групповой структуры резонансных колебаний, хотя визуально она выделяется существенно

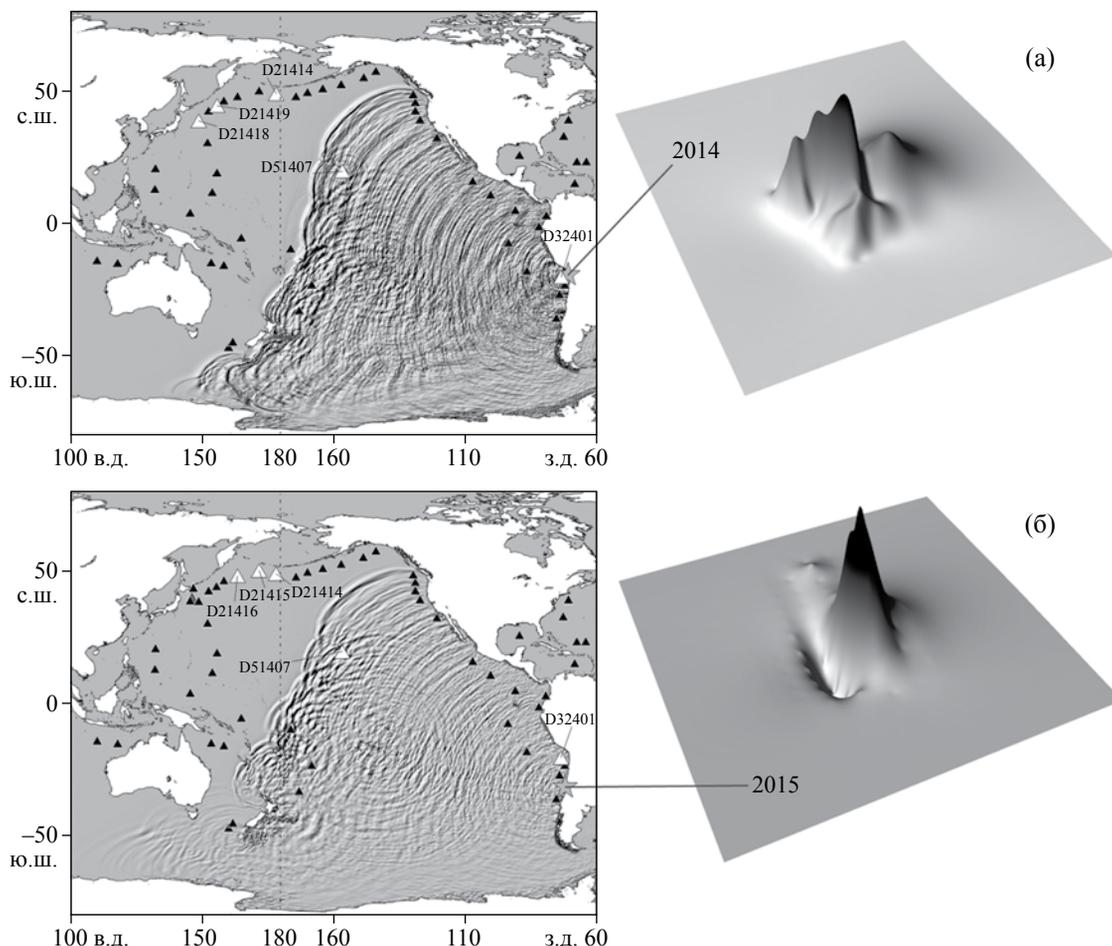


Рис. 6. Положение эпицентров цунамигенных землетрясений, модели источника и расчетные волновые поля (а) – 01.09.2014 г.; (б) – 16.09.2015 г.

в меньшей степени, чем Малокурульской бухте. Наибольшее возрастание по сравнению со спектром естественного фона отмечено на периодах около 6 и 30 мин (на два порядка), несколько более слабое – на периодах 13, 45 и 60 мин.

В б. Малокурульская отмечено равномерное (примерно на порядок) возрастание энергии колебаний уровня моря при цунами по сравнению с обычными условиями, проявившееся в широком диапазоне периодов (от 2 до 100 мин). Несколько выделяется основной резонансный пик (раздвоенный) с периодом около 19 мин, на котором энергия возросла почти на два порядка. Выделяются также более слабые пики на периодах 8, 30 и 45 мин.

В спектре колебаний по измерениям в б. Крабовая выявлено два мощных, хорошо выраженных пика – на периоде нулевой моды резонансных колебаний 30 мин и на периоде 45 мин, который не связан с топографическими условиями в бухте. Наличие аналогичного максимума на всех станциях позволяет предположить, что он связан с особенностями источника.

В целом, цунами, вызванное землетрясением 16 сентября 2015 г., на побережье о. Шикотан, проявилось существенно сильнее и в более широком диапазоне периодов, чем событие 01 апреля 2014 г. В б. Малокурульская максимальная высота волны была около 0.9 м, что является опасным событием, в особенности для стоявших вблизи берега судов, а также для людей, находившихся непосредственно на берегу. Также, как и годом ранее, отмечено слабое вступление и значительный временной сдвиг между моментами прихода первой и максимальной волн (от 4 до 8 ч), а также большая продолжительность интенсивных колебаний.

4. ИЗМЕРЕНИЯ ЧИЛИЙСКИХ ЦУНАМИ В ОТКРЫТОМ ОКЕАНЕ И ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

На рис. 6а, 6б представлены модели источников чилийских цунами 2014 и 2015 гг., построенные на основе сейсмологической информации, предоставленной на сайте геологической службы

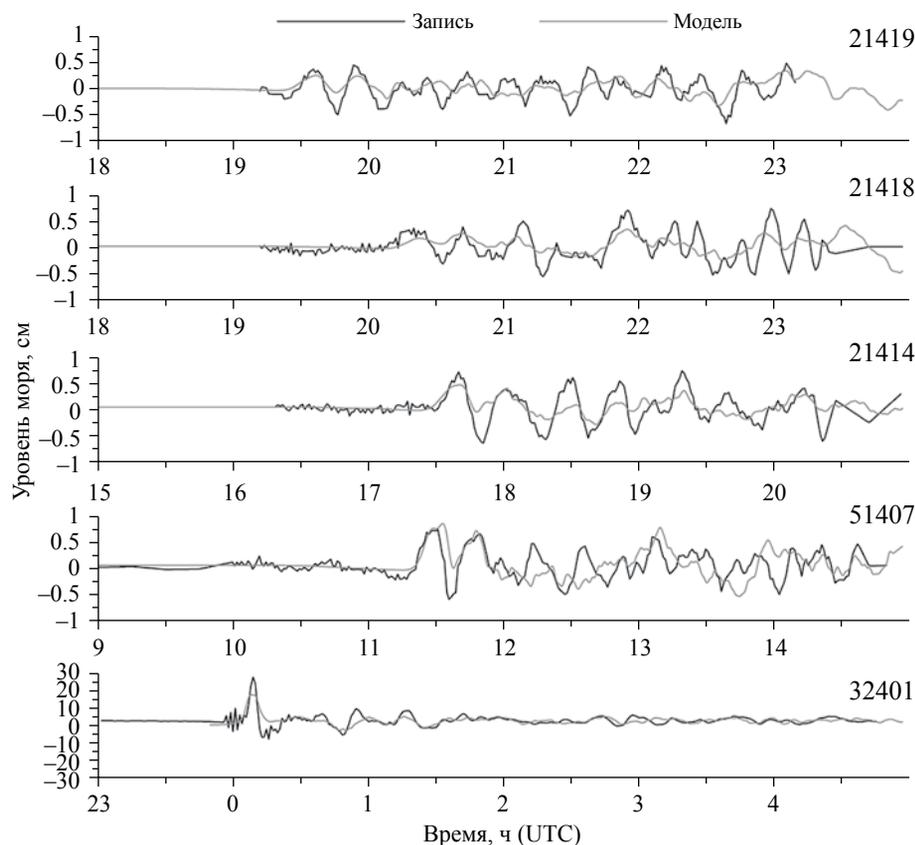


Рис. 7. Измеренные (черная линия) и расчетные (желтая) волнограммы цунами 01.04.2014 г. на глубоководных станциях DART по трассе распространения к тихоокеанскому побережью России.

США (USGS), и современных методик, позволяющих оценить вертикальные смещения морского дна (аналогичная модель была построена для землетрясения 2014 г. в работе [4]). Из рисунка видно, что первое из рассматриваемых землетрясений вызвало практически исключительно положительные вертикальные смещения, имевшие достаточно сложную форму с несколькими максимумами. Не было также отмечено характерной для большинства землетрясений, происходящих в зонах субдукции, вытянутости очага. Важную роль в формировании направленности излучения играло географическое положение эпицентра землетрясения, находившегося в изгибе береговой линии Южной Америки, вблизи границы между Чили и Перу. В результате основная волновая энергия была ориентирована в юго-западном направлении, в сторону побережья России распространялись более слабые волны.

Это хорошо видно на записях цунами на глубоководных станциях DART (рис. 7) – на ст. 32401, расположенной к юго-западу на небольшом удалении от источника, высота волны (около 40 см) была на порядок больше высот волн, зафиксированных на станциях, расположенных к северу от

очага подводного землетрясения, на трассе распространения волн к тихоокеанскому побережью России. Интересно отметить, что волновой пакет на станциях, расположенных вдоль берегов Южной и Северной Америк, включая DART 21414 в западной части Алеутской островной гряды, а также датчик 51407 вблизи Гавайских островов, выглядит идентично. Заметные отличия выявлены только у побережья о. Хонсю (DART 21418). Численная модель неплохо воспроизводит наблюдаемый сигнал по форме, частоте и времени прихода, но амплитуды расчетных волн существенно меньше измеренных.

Источник цунами 2015 г. имел более типичную, классическую форму – был близок к дипольному типу и вытянут вдоль изобат, положительные вертикальные смещения были достаточно велики. Амплитуды волн на всех станциях были больше, чем в 2014 г., за исключением ст. 32401, которая на этот раз была несколько удалена от эпицентра землетрясения. Расчетная волновая форма на начальном отрезке очень хорошо согласуется с наблюдениями на большинстве глубоководных станций (рис. 8), за исключением указанной, на которой амплитуда была существенно меньше полученной по измерениям.

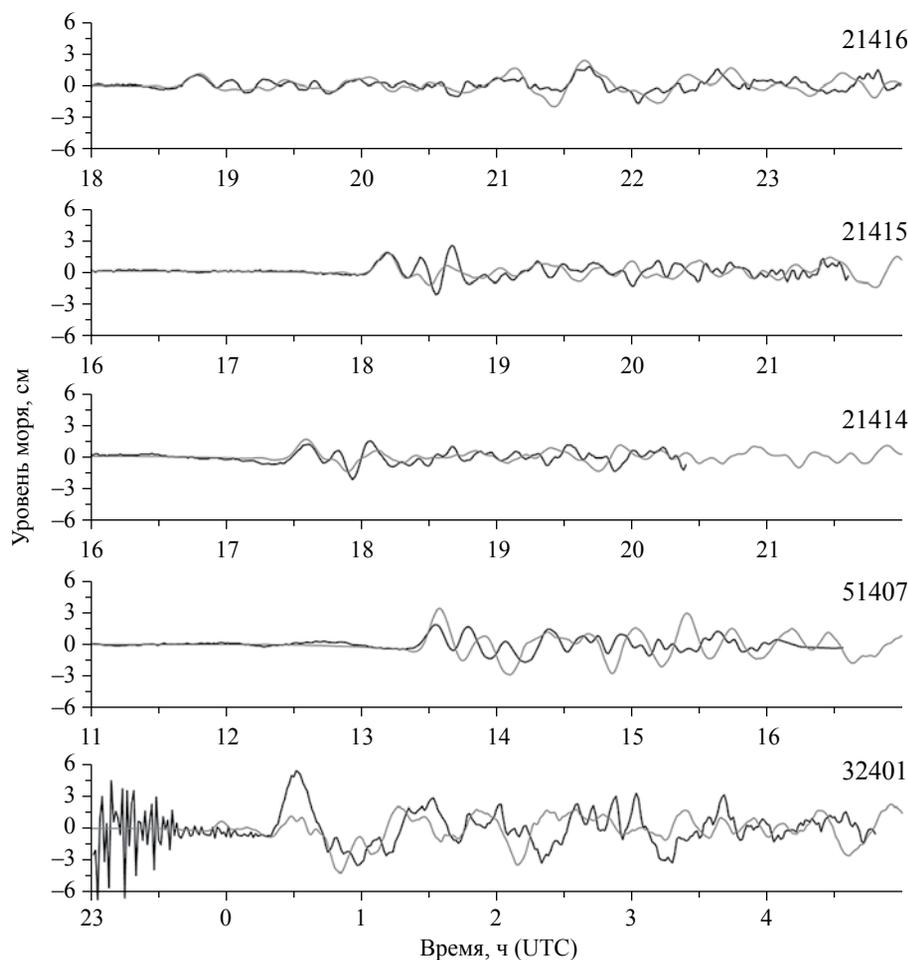


Рис. 8. Измеренные (черная линия) и расчетные (желтая) волнограммы цунами 16.09.2015 г. на глубоководных станциях DART по трассе распространения к тихоокеанскому побережью России.

Несмотря на некоторую фрагментарность представленного расчетного волнового поля, из рис. 8 хорошо видно, что направляющиеся к российским берегам волны испытывают сравнительно слабое радиальное растяжение фронта (с которым связано уменьшение амплитуды головной волны), несмотря на очень протяженную трассу распространения. Рассеивающие эффекты, обусловленные наличием групп мелких островов и подводных гор, также сравнительно невелики. Эти обстоятельства являются главным фактором, определяющим то обстоятельство, что волны цунами, вызванные сильными подводными землетрясениями в Чилийско-Перуанской сейсмоактивной зоне (участке глубоководного желоба у берегов Южной Америки), подходят к побережью Курильской гряды без существенного ослабления. Этот результат согласуется с выводами Т. Хатори относительно опасности цунами от удаленных источников на восточном побережье Японии [5]. Отметим, что в обоих случаях характер волн, распространявшихся в сторону российских берегов, был идентичен в отличие волн,

двигавшихся в западном и юго-западном направлениях. Также из рисунка следует, что сформировавшийся вблизи источника цуг волн сохраняет свою форму даже при значительном удалении от очага землетрясения.

В таблице приведены значения дисперсии, отражающей энергию вызванных цунами колебаний, на глубоководных станциях DART и в бухтах о. Шикотан. Расчет производился по отрезкам 6-часовой продолжительности, начиная с момента вступления цунами. Дисперсия на станциях вблизи источника показывает, что основная энергия была ориентирована в ЗЮЗ в первом и в З направлении во втором случае, на что указывают высокие и близкие по величине значения дисперсии на станциях D32401 и D32402. В С-СЗ направлении (ст. D32411 вблизи Панамского перешейка и D51407 у Гавайских островов) распространялись существенно более слабые волны, причем энергия цунами 2015 г. была в 6–7 выше, чем при первом событии. По мере распространения, у берегов Калифорнии (D46407) и в центральной части

Дисперсия (энергия, в см²) колебаний при Чилийских цунами 2014 и 2015 гг., рассчитанная по 6-часовым отрезкам записи на глубоководных (DART) и береговых станциях в бухтах о. Шикотан

Станция	2014	2015
D21413		0,07
D21414	0,06	0,25
D21415		0,34
D21416		0,25
D21419	0,03	
D21418	0,05	
D32401	9,90	3,07
D32402	1,45	7,09
D32411	0,04	0,24
D32412	1,42	1,84
D46407	0,04	0,09
D46408	0,01	0,44
D46409	0,01	0,24
D51407	0,05	0,34
б. Димитрова	112,36	178,38
б. Церковная		79,82
б. Малокурильская	70,91	286,75
б. Крабовая	35,41	83,08

Алеутской островной гряды (D21414) это отношение несколько уменьшалось, до 2.3 и 4. Такие же значения были получены для бухт Крабовая и Малокурильская на о. Шикотан, в то время как для б. Димитрова на его океанской стороне отношение энергий было самым низким (1.6). Наиболее вероятно, это связано со сравнительно слабым проявлением резонансного отклика бухты при цунами 2015 г. и было причиной сравнительно небольших значений высоты волны в ней. Это при том, что, согласно результатам численного моделирования, высота волны у входа в нее была в 2.5 раза выше, чем на подходах к Малокурильской бухте. В итоге в последней, где резонансное усиление стабильно высокое, амплитуда цунами оказалась больше, чем на тихоокеанском побережье, что наблюдается достаточно редко.

Столь значительные различия в энергии цунами 2014 и 2015 гг. в северной части Тихого океана обусловлены, главным образом, расположением источников. В первом случае он располагался в районе изгиба береговой линии вблизи границы между Чили и Перу, и топография береговой черты препятствовала распространению волн в северном направлении, чего не наблюдалось при втором событии.

Заметное ослабление вызванных цунами колебаний наблюдается на прибрежных участках западной части Алеутской островной гряды, Командорских островов и у юго-восточных берегов полуострова Камчатка, хотя на станции D21415

значение энергии в 2015 г. было сравнительно высоким. Аналогичная ситуация отмечалась и при более сильном Чилийском цунами 27.02.2010 г. [6]: на станции Адак в центральной части Алеутской гряды и на DART 21414 были зафиксированы значительные колебания, на о. Шемя и на станциях Никольское (о. Беринга, Командорские о-ва) и Петропавловск-Камчатский наблюдались слабые волны.

Это было удивительно, поскольку на тихоокеанском побережье Северных и Южных Курильских островов были зафиксированы опасные волны высотой около 2 м. Численные расчеты Чилийских цунами 2014–2015 гг. согласуются с выводами указанной работы, в которой было показано, что западная часть Алеутской гряды и северо-восточный фланг тихоокеанского побережья России при землетрясениях у берегов Южной Америки находятся в своеобразной зоне тени.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате постановок автономных донных станций в бухтах о. Шикотан получены записи двух цунами от сильных землетрясений, имевших место у берегов Чили 01 апреля 2014 г. и 16 сентября 2015 г. В обоих случаях в различных бухтах наблюдались продолжительные интенсивные колебания с выраженной групповой структурой, главным образом, на периодах основных мод резонансных колебаний. Второе событие было более опасным, в б. Малокурильская высота волны составила 0.9 м. Возрастание энергии колебаний в 2015 г. по сравнению с естественным длинноволновым фоном было более значительным (на полтора порядка) и проявилось в более широком диапазоне периодов – от 2 до 100 мин, в то время как в 2014 г. этот диапазон составил от 10 до 80 мин.

Дисперсия (энергия) колебаний как на глубоководных станциях в северной части Тихого океана, так и на береговых станциях о. Шикотан при событии 2015 г. была в несколько раз выше, чем в 2014 г. Наименьшее усиление отмечено в б. Димитрова на тихоокеанском побережье острова (в 1.6 раза). Наиболее вероятно, это связано с относительно слабым проявлением резонансного отклика бухты во втором случае.

Численное моделирование цунами показало, что характер распространения волн при обоих землетрясениях был идентичен в северной части Тихого океана, на подходе к тихоокеанскому побережью России, и отличался слабым затуханием, в отличие от волн, распространявшихся в западном и юго-западном направлении. Это объясняет причины того, что при землетрясениях у берегов Южной Америки, несмотря на значительную удаленность, можно ожидать больших высот волн на побережье Курильских островов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ивельская Т.Н., Шевченко Г.В.* Усиление низкочастотной компоненты чилийского цунами (май, 1960 г.) на северо-западном шельфе Тихого океана // Метеорология и гидрология. 2006. № 2. С. 69–81.
2. *Ивельская Т.Н., Храмушин В.Н., Шевченко Г.В.* Чилийское цунами 27 февраля 2010 года: проверка состояния службы предупреждения // Проблемы анализа риска. 2010. Т. 7. № 2. С. 34–47.
3. *Рабинович А.Б., Левянт А.С.* Влияние сейшевых колебаний на формирование спектра длинных волн у побережья Южных Курил // Океанология. 1992. Т. 32. № 1. С. 29–38.
4. *An C., Sepúlveda I., Liu P.* Tsunami source and its validation of the 2014 Iquique, Chile, earthquake // Geophysical research letters. 2014. 10.1002/2014GL060567.
5. *Hatori T.* Study on distant tsunamis along the coast of Japan. Part II. Tsunamis of and South American origin // Bulletin of the Earthquake Institute. 1968. V. 46. P. 345–359.
6. *Shevchenko G., Ivelskaya T., Loskutov A., Shishkin A.* The 2009 Samoan and 2010 Chilean tsunamis recorded on the Pacific coast of Russia // Pure and Applied Geophysics. 2013. V. 170. P. 1511–1527.

The Chilean Tsunamis 01.04.2014 and 16.09.2015 Peculiarities on the Pacific Coast of Russia

G. V. Shevchenko, A. V. Loskutov, A. A. Shishkin, T. N. Ivelskaya

As a result of autonomous bottom pressure recorders deployment in bays of Shikotan Islands the records of two tsunamis from strong earthquakes occurred near the Chile coast on 1st of April of 2014 and 16th September of 2015 were obtained. In both cases the continuous strong oscillations with manifesting group structure were revealed mainly at main resonant periods. The second event was more hazardous, as the wave height in Malokuril'skaya bay reached 0.9 m. Energy increase of oscillations was more significant in 2015 and manifested in wider frequency range. Numerical simulation shows that propagation of tsunami waves from both earthquakes have the same features in the North Pacific, and on the way to Pacific Coast of Russia with weak energy damping, dislike waves propagating towards South-West. It explains the reasons why earthquakes occurred offshore South America may generate large tsunamis on Kuril Islands despite their remoteness.